Les grands principes de fonctionnement de *Code_Aster*

Résumé :

On présente ici de façon sommaire les principes de fonctionnement de *Code_Aster* et les principales règles d'utilisation.

Ce document reste un descriptif général et le lecteur se reportera utilement aux autres documents, pour tous les détails d'utilisation.

1 Principes généraux

Code Aster permet de réaliser des calculs de structures pour les phénomènes thermique, mécanique, thermo-mécanique, ou thermo-hydro-mécanique couplé, avec un comportement linéaire ou non linéaire, et des calculs d'acoustique interne.

Les non linéarités portent sur les comportements des matériaux (plasticité, viscoplasticité, endommagement, effets métallurgiques, hydratation et séchage du béton, ...), les grandes déformations ou grandes rotations et le contact avec frottement. On se reportera à la plaquette de présentation de *Code_Aster* pour la présentation des différentes fonctionnalités.

Les études industrielles courantes nécessitent la mise en œuvre d'outils de maillage et de visualisation graphique, qui ne font pas partie du code. Cependant, plusieurs outils sont utilisables pour ces opérations par l'intermédiaire de procédures d'interface intégrées au code.

Pour réaliser une étude, l'utilisateur doit, en général, préparer deux fichiers de données :

- le fichier de **maillage :**

  Ce fichier définit la description géométrique et topologique du maillage sans choisir, à ce stade, le type de formulation des éléments finis utilisés ou le phénomène physique à modéliser. Certaines études peuvent conduire à utiliser plusieurs fichiers de maillage.

  Ce fichier de maillage est, en général, produit par des commandes intégrées à *Code_Aster* à partir d'un fichier provenant d'un logiciel de maillage utilisé en pré-processeur (SALOME, GIBI , GMSH, IDEAS…).
  Les informations que doit contenir ce fichier sont spécifiques à *Code_Aster*. Elles définissent des entités classiques de la méthode des éléments finis :

  - **nœuds** : points définis par un **nom** et par leurs **coordonnées cartésiennes** dans l'espace **2D** ou **3D**,
  - **mailles** : figures topologiques **nommées** planes ou volumiques (point, segment, triangle, quadrangle, tétraèdre, ...) sur lesquelles pourront s'appliquer différents types d'éléments finis, de conditions aux limites ou de chargements.

  Pour améliorer la sûreté d'utilisation et le confort des opérations de modélisation et de dépouillement des résultats, on peut définir, dans le fichier de maillage, des niveaux d'entités supérieurs, possédant en commun une propriété quelconque et qui pourront être utilisés directement par leur nom :

  - **groupes de nœuds** : listes nommées de noms de nœuds,
  - **groupes de mailles** : listes nommées de noms de mailles.

  On notera, dès maintenant, que toutes les entités géométriques manipulées (nœuds, mailles, groupes de nœuds, groupes de mailles) sont **nommées par l'utilisateur** et utilisables à tout moment par leur nom (**8 caractères au maximum**). L'utilisateur pourra utiliser cette possibilité pour identifier explicitement certaines parties de la structure étudiée et faciliter ainsi le dépouillement des résultats. La numérotation des entités n'est jamais explicitée : elle sert uniquement en interne pour pointer sur les valeurs des différentes variables associées.

- le fichier de **commandes** : pour définir le texte de commande qui permet :

  - de lire et éventuellement enrichir les données du fichier de maillage (ou d'autres sources de résultats externes),
  - d'affecter les données de modélisation sur les entités du maillage,
  - d'enchaîner différentes opérations de traitement : calculs, post-traitements spécifiques,
  - d'éditer les résultats sur différents fichiers.

  Le texte de commande fait référence aux noms d'entités géométriques définis dans le fichier de maillage. Il permet aussi de définir de nouveaux groupes à tout moment.

Du point de vue informatique, ces deux fichiers sont des fichiers **ASCII** en format libre. On en donne ici les caractéristiques principales :

Syntaxe du fichier de maillage :

- longueur de ligne limitée à 80 caractères,
- les caractères admis sont :
  - les 26 majuscules **A-Z** et les 26 minuscules **a-z** converties automatiquement en majuscules, sauf dans les textes (fournis entre quotes),
  - les dix chiffres **0-9** et les signes de représentation des nombres (**+ - .**),
  - le caractère **_ blanc souligné** utilisable dans des mots-clés ou des noms,
- un mot doit toujours commencer par une lettre,
- le caractère **blanc** est toujours un séparateur,
- le caractère **%** indique le début, jusqu'à la fin de la ligne, d'un **commentaire**.
- Les autres règles de lecture sont précisées dans le fascicule [U3.01.00]

Syntaxe du fichier de commandes :

- syntaxe liée au langage Python, permettant d'inclure des instructions de ce langage
- le caractère **#** indique le début, jusqu'à la fin de la ligne, d'un **commentaire**.
- Les commandes doivent commencer en colonne 1, à moins qu'elles ne fassent partie d'un bloc indenté (boucle, test)

Les autres règles de lecture sont précisées dans le fascicule [U1.03.01].

2 Maillage

2.1 Généralités

Le fichier de maillage *Aster* peut être rédigé (pour des maillages vraiment élémentaires) ou modifié manuellement avec n'importe quel éditeur de texte. C'est un fichier lu en format libre, structuré en blocs d'informations ou sous-fichiers par des mots-clés imposés.

Différents utilitaires ont été développés pour faciliter l'importation de maillage dans *Code_Aster*. On distingue :

- les utilitaires de conversion qui permettent la conversion d'un fichier de maillage produit par un autre progiciel (IDEAS, GIBI, GMSH...) en un fichier de maillage au format *Aster,*
- la commande de lecture d'un fichier de maillage au format MED, produit par Salome.

2.2 Le fichier de maillage *Aster*

La structure et la syntaxe du fichier de **maillage** *Aster* sont détaillées dans le **Fascicule [U3.01.00]**.

Le fichier de maillage *Aster* est lu de la première ligne jusqu'à la première occurrence d'une ligne débutant par le mot **FIN**. **Ce mot-clé est obligatoire.** Le fichier de maillage est structuré en sous-fichiers indépendants commençant par un **mot-clé** et terminé par le mot-clé imposé **FINSF**.

Ce fichier doit comporter au moins deux sous-fichiers :

- les coordonnées de tous les nœuds du maillage dans un repère cartésien 2D (COOR_2D) ou 3D (COOR_3D).
- la description de toutes les mailles (TRIA3, HEXA20, etc …), sur lesquelles on affectera ensuite des propriétés physiques, des éléments finis, des conditions aux limites ou des chargements.

Il peut contenir éventuellement des groupes de nœuds (GROUP_NO) ou de mailles (GROUP_MA) pour faciliter les opérations d'affectation, mais aussi le dépouillement des résultats.

Il est indispensable de créer explicitement *à ce stade les mailles situées sur les frontières d'application des chargements et des conditions aux limites. On trouvera alors, dans le fichier de maillage :*

- *les mailles de bord des éléments 2D nécessaires,*
- *les mailles de face des éléments 3D massifs nécessaires;*
- *les groupes de mailles d'arête et/ou de face associés.*

Cette contrainte devient supportable lorsque l'on utilise une interface, qui fait le travail à partir des indications fournies lors du maillage (voir les documents PRE_IDEAS [U7.01.01] ou PRE_GIBI [U7.01.11]).

2.3 Les utilitaires de conversion

Ces interfaces permettent de convertir les fichiers, avec ou sans format, utilisés par différents progiciels ou codes de calcul, au format conventionnel du fichier de maillage *Aster*.

Les interfaces disponibles actuellement sont celles qui permettent d'utiliser le mailleur IDEAS, le mailleur GIBI de CASTEM 2000 et le mailleur GMSH.

2.3.1 Le fichier universel IDEAS

Le fichier convertible est le fichier universel défini par la documentation I-DEAS (voir Fascicule [U3.03.01]). La reconnaissance de la version IDEAS utilisée est automatique.

Un fichier universel IDEAS est constitué de plusieurs blocs indépendants dénommés "**data sets".** Chaque "**data set"** est encadré par la chaîne de caractères **-1** et numéroté. Les "data sets" reconnus par l'interface sont décrits dans le fascicule [U3.03.01].

2.3.2 Le fichier de maillage GIBI

L'interface est réalisée à l'aide de la commande PRE_GIBI [U7.01.11]).
Le fichier convertible est le fichier ASCII restitué par la commande SAUVER FORMAT de CASTEM 2000. La description précise de l'interface est donnée en [U3.04.01].

2.3.3 Le fichier de maillage GMSH

L'interface est réalisée à l'aide de la commande PRE_GMSH [U7.01.31]).
Le fichier convertible est le fichier ASCII restitué par la commande SAVE de GMSH.

2.4 Le fichier de maillage au format MED

L'interface est réalisée à l'aide de la commande LIRE_MAILLAGE (FORMAT='MED') [U4.21.01].

MED (Modélisation et Echanges de Données) est un format de données neutre développé par EDF R&D et CEA pour les échanges de données entre codes de calcul. Les fichiers MED sont des fichiers binaires et portables. La lecture d'un fichier MED par LIRE_MAILLAGE, permet de récupérer un maillage produit par tout autre code capable de créer un fichier MED sur toute autre machine. Ce format de données est notamment utilisé pour les échanges de fichiers de maillages et de résultats entre *Code_Aster* et Salomé ou l'outil de raffinement de maillage HOMARD.

2.5 L'utilisation de maillages incompatibles

Bien que la méthode des éléments finis préconise l'utilisation de maillages réguliers, sans discontinuité, pour obtenir une convergence correcte vers la solution du problème continu, il peut être nécessaire pour certaines modélisations d'utiliser des maillages incompatibles : de part et d'autre d'une frontière, les maillages ne se correspondent pas. Le raccordement de ces deux maillages est alors géré au niveau du fichier de commandes par le mot-clé LIAISON_MAIL de la commande

AFFE_CHAR_MECA. Ceci permet en particulier de raccorder une zone maillée finement avec une autre zone où on peut se contenter d'un maillage grossier.

2.6 Le maillage adaptatif

A partir d'un maillage initial, il est possible d'adapter le maillage, pour minimiser l'erreur commise, à l'aide de la macro commande MACR_ADAP_MAIL, qui fait appel au logiciel HOMARD. Le logiciel de maillage adaptatif HOMARD fonctionne sur des maillages formés de segments, triangles, quadrangles, tétraèdres, hexaèdres et pentaèdres.

Cette adaptation de maillage se place après un premier calcul avec le *Code_Aster*. Un indicateur de l'erreur aura été calculé. En fonction de sa valeur maille par maille, le logiciel HOMARD modifiera le maillage. Il est également possible d'interpoler des champs de température ou de déplacement aux nœuds de l'ancien maillage vers le nouveau [U7.03.01].

3 Commandes

3.1 Le fichier de commandes

Le fichier de **commandes** contient un ensemble de commandes, exprimées dans un langage spécifique à *Code_Aster* (qui doit respecter la syntaxe Python). Ces commandes sont analysées et exécutées par une couche logicielle de *Code_Aster* appelée « superviseur ».

3.2 Le rôle du superviseur

Le superviseur réalise différentes tâches, notamment :

- une **phase de vérification** et d'interprétation du fichier de commandes,
- une **phase d'exécution** des commandes interprétées.

Ces tâches sont détaillées dans le document [U1.03.01].

Le fichier de commandes est traité à partir de la ligne où se trouve le premier appel à la procédure **DEBUT()** ou à la procédure **POURSUITE(),** et jusqu'à la première occurrence de la commande **FIN()**. Les commandes situées avant **DEBUT()** ou **POURSUITE()** et après **FIN()** ne sont pas exécutées, mais doivent être syntaxiquement correctes).

Phase de vérification syntaxique :

lecture et vérification syntaxique de chaque commande ; toute erreur de syntaxe détectée fait l'objet d'un message, mais l'analyse se poursuit,
vérification que tous les concepts utilisés comme arguments ont été déclarés dans une commande précédente comme concept produit d'un opérateur ; on vérifie aussi que le type de ce concept correspond au type demandé pour cet argument.

Phase d'exécution :

le superviseur active successivement les différents opérateurs et procédures, qui réalisent les tâches prévues.

3.3 Les principes et la syntaxe du langage de commande

La conception modulaire de *Code_Aster* permet de présenter le code comme une suite de commandes indépendantes :

les **procédures**, qui ne produisent pas directement de résultats, mais assurent, entre autre, la gestion des échanges avec les fichiers externes,
les **opérateurs**, qui réalisent une opération de gestion de données ou de calcul et produisent un

concept résultat auquel l'utilisateur donne un nom.

Ces concepts représentent des structures de données, que l'utilisateur peut manipuler. Ces **concepts** sont **typés** au moment de leur création et ne pourront être utilisés que comme argument d'entrée du type correspondant.

Les procédures et les opérateurs échangent donc les informations nécessaires et des valeurs par l'intermédiaire des **concepts nommés.**

La syntaxe complète des commandes et ses implications sur la rédaction du fichier de commandes sont détaillées dans le fascicule [U1.03.01]. On donne ici un exemple de quelques commandes (extraites de l'exemple commenté en [U1.05.00]) :

```
mail = LIRE_MAILLAGE  ( )

mod1 = AFFE_MODELE(MAILLAGE = mail,
                   AFFE=_F(TOUT='OUI',
                       PHENOMENE='MECANIQUE',
                       MODELISATION='AXIS'))

f_y = DEFI_FONCTION ( NOM_PARA = 'Y'
                      VALE =_F ( 0., 20000.,
                               4., 0. )
                     )

charg = AFFE_CHAR_MECA_F ( MODELE = mod1
        PRES_REP =_F ( GROUP_MA = ('lfa', 'ldf'),
                   PRES = f_y ) )
.....
res1 = MECA_STATIQUE( MODELE=mod1,
                      ......
                      EXCIT=_F(CHARGE = charg),
                      ....)

res1 = CALC_CHAMP ( reuse=res1, RESULTAT=res1,
                    MODELE=mod1,
                    CONTRAINTE=('SIGM_ELNO'),
                    DEFORMATION=('EPSI_ELNO),);
```

On notera quelques points généraux, que l'on peut observer sur l'exemple précédent :

- toute commande commence en première colonne,
- la liste des opérandes d'une commande est obligatoirement entre parenthèses, ainsi que les listes d'éléments,
- un `nom_de_concept` ne peut apparaître qu'**une seule fois** dans le texte de commande comme concept produit, à gauche du signe `=`,
- la **réutilisation d'un concept existant comme concept produit**, n'est possible que pour les opérateurs spécifiés à cet effet. Lorsque l'on utilise cette possibilité (concept réentrant), la commande utilise alors le mot-clé réservé « `reuse` ».
  - une commande est composée d'un ou plusieurs `mot_clé` ou `mot_clé_facteur`, ces derniers étant eux-mêmes composés d'une liste de `mot_clé` entre parenthèses et précédée du préfixe `_F`. Dans l'exemple proposé, la commande `AFFE_CHAR_MECA_F` utilise le `mot_clé MODELE` et le `mot_clé_facteur PRES_REP`, qui est composé des deux `mot_clé GROUP_MA` et `PRES`.

Cette opération se fait :

- soit avec écrasement des valeurs initiales. A titre d'exemple signalons la factorisation en place d'une matrice de rigidité :
  `matass = FACTORISER ( reuse=matass, MATR_ASSE= matass )`
- soit avec enrichissement du concept.

3.4 Règle de surcharge

Une **règle de surcharge** utilisable, notamment pour toutes les opérations d'affectation, a été ajoutée aux règles d'utilisation d'un mot_clé_facteur avec plusieurs listes d'opérandes :

- les affectations se font en superposant les effets des différents mot_clé,
- en cas de conflit, le dernier mot_clé l'emporte sur les précédents.

Exemple : on souhaite affecter différents matériaux MAT1, MAT2 et MAT3 à certaines mailles :

```
mater = AFFE_MATERIAU ( MAILLAGE= mon_mail
        AFFE = _F( TOUT = 'OUI', MATER = MAT1 ),
               _F( GROUP_MA = 'mail2', MATER = MAT2 ),
               _F( GROUP_MA = 'mail1', MATER = MAT3 ),
               _F( MAILLE = ( 'm7','m8' ), MATER = MAT3 ) )
```

- On commence par affecter le matériau MAT1 à toutes les mailles.
- On affecte ensuite le matériau MAT2 au groupe de mailles mail2 qui contient, les mailles m8, m9 et m10.
- On affecte enfin le matériau MAT3 au groupe de mailles mail1 (m5, m6 et m7) et aux mailles m7 et m8 , ce qui est source de conflit puisque la maille m7 fait déjà partie du groupe mail1. La règle de surcharge sera alors appliquée et on obtiendra finalement le champ de matériau suivant :

  MAT1 : mailles m1 m2 m3 m4
  MAT2 : mailles m9 m10
  MAT3 : mailles m5 m6 m7 m8

L'effet progressif des différentes affectations de matériau est illustré dans le tableau ci-dessous.

Nom de la maille	Champ de matériaux après la 1ère affectation	Champ de matériaux après la 2ème affectation	Champ de matériaux après la 3ème affectation	champ de matériaux final
m1	MAT1	MAT1	MAT1	MAT1
m2	MAT1	MAT1	MAT1	MAT1
m3	MAT1	MAT1	MAT1	MAT1
m4	MAT1	MAT1	MAT1	MAT1
m5	MAT1	MAT1	MAT3	MAT3
m6	MAT1	MAT1	MAT3	MAT3
m7	MAT1	MAT1	MAT3	MAT3
m8	MAT1	MAT2	MAT2	MAT3
m9	MAT1	MAT2	MAT2	MAT2
m10	MAT1	MAT2	MAT2	MAT2

3.5 Règle de rémanence

La règle de surcharge précédente doit être complétée par une autre règle pour préciser ce qui se passe lorsqu'on peut affecter plusieurs quantités pour chaque occurrence d'un mot clé facteur.

Soit par exemple :

```
CHMEC1=AFFE_CHAR_MECA(  MODELE=MO,
```

```
        FORCE_INTERNE=(
        _F( TOUT      = 'OUI', FX = 1.          ),
        _F( GROUP_MA = 'GM1',           FY = 2.),
    ))
```

La règle de surcharge nous dit que la deuxième occurrence de FORCE_INTERNE surcharge la première.

Mais que vaut FX sur une maille appartenant à GM1 ? a-t-il été effacé par la deuxième occurrence ?

Si la seule règle de surcharge est appliquée, FX n'est pas défini sur GM1.

La règle de rémanence permet de conserver la valeur de FX.
Si la règle de rémanence est appliquée, FX conserve la valeur affectée au préalable. Tous les éléments du modèle ont une valeur pour FX et les éléments de GM1 pour une valeur pour FX et FY.

3.6 Bases mémoire associées à une étude

Code_Aster s'appuie, pour la gestion de toutes les structures de données associées aux différents concepts manipulés, sur la bibliothèque JEVEUX. Celle-ci prend en charge la gestion de l'**espace mémoire** demandé par l'utilisateur lors de la demande d'exécution (paramètre **Mémoire** exprimé en Mégaoctets). Cet espace est fréquemment insuffisant pour conserver en mémoire centrale toutes les structures de données. La bibliothèque prend alors en charge, la gestion des échanges entre la mémoire centrale et des mémoires auxiliaires sur fichiers.

Chaque entité est affectée, lors de sa création par le code, à un **fichier d'accès direct**. Celui-ci peut être considéré comme une **base de données**, puisqu'il contient, en fin d'exécution le **répertoire** (noms et attributs) qui permet d'exploiter tous les segments de valeurs qu'il contient.

Code_Aster utilise plusieurs bases de données :

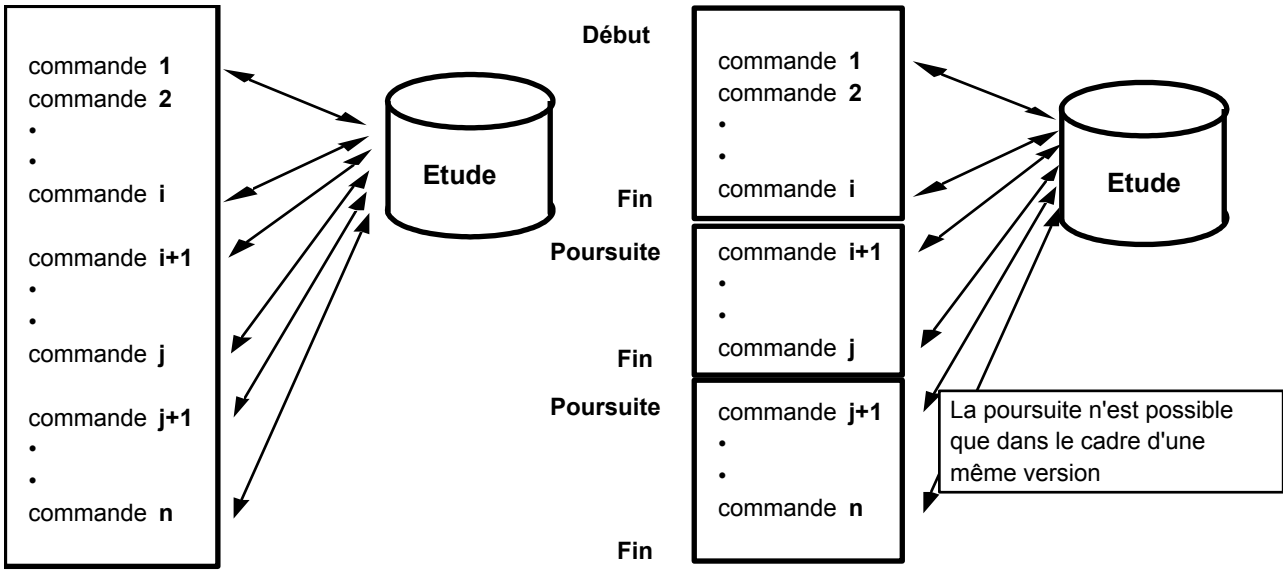
- la base de données GLOBALE, qui contient tous les concepts produits par les opérateurs, ainsi que le contenu de certains catalogues sur lesquels s'appuient les concepts ; le fichier associé à cette base permet la poursuite ultérieure d'une étude. Elle doit donc être gérée par l'utilisateur.
- les autres bases de données, utilisées uniquement par le Superviseur et les opérateurs, au cours d'une exécution, ne nécessitent pas d'intervention particulière de l'utilisateur.

Réaliser une étude, c'est demander l'enchaînement de plusieurs commandes :

- des procédures pour échanger des fichiers avec le monde extérieur,
- des opérateurs pour créer des concepts produits au fur et à mesure du déroulement des opérations de modélisation et de calcul.

Les commandes qui correspondent à cet enchaînement d'opérations peuvent être réalisées de différentes façons, à partir du module exécutable unique de *Code_Aster* :

- en une seule exécution séquentielle, sans intervention de l'utilisateur,
- en fractionnant l'étude en plusieurs exécutions successives, avec réutilisation des résultats antérieurs; à partir de la seconde exécution, l'accès à la base de données se fait en **poursuite**; à l'occasion d'une poursuite, on peut redemander la dernière commande, si elle s'est interrompue prématurément (manque de temps, données incomplètes ou incorrectes détectées en phase d'exécution, ...).



Pour gérer ces possibilités, on notera que trois commandes jouent un rôle primordial. Ce sont celles qui correspondent aux **procédures** qui activent le superviseur :

- **DEBUT()** **obligatoire** pour la **première** exécution d'une étude,
- **POURSUITE()** **obligatoire** à partir de la **deuxième** exécution d'une étude,
- **FIN()** **obligatoire** pour toutes les exécutions.

Pour une étude donnée, on peut soumettre des fichiers de commandes ayant la structure suivante :

Remarques :

- *La commande INCLUDE permet d'inclure dans un flot de commandes le contenu d'un autre fichier de commandes. Ceci permet notamment de conserver un fichier des commandes principales lisible et de placer dans des fichiers annexés des données numériques volumineuses (ex : définition de fonctions).*
- *Les fichiers de commandes peuvent être découpés en plusieurs fichiers qui seront exécutés l'un après l'autre, avec sauvegarde intermédiaire de la base de données. Pour cela, il faut définir les fichiers de commandes successifs, dont le suffixe sera : .com1 , .com2 , ..., .com9. Les exécutions de ces fichiers sont enchaînées. La base de données de la dernière exécution qui s'est bien terminée est conservée.*

3.7 Aide à la définition des valeurs

3.7.1 Substitution de valeurs

Il est possible de paramétrer un fichier de commandes.

Par exemple :

```
Eptub = 26.187E-3

Rmoy  = 203.2E-3

Rext  = Rmoy+(EPtub/2)

cara  = AFFE_CARA_ELEM ( MODELE =  modele
         POUTRE =_F (  GROUP_MA = tout ,  SECTION : 'CERCLE',
                       CARA    = ( 'R','EP' ) ,   VALE  = ( Rext , EPtub)))
```

3.7.2 Fonctions de un ou plusieurs paramètres

Il est également souvent nécessaire d'utiliser des grandeurs fonctions d'autres paramètres.

Celles-ci peuvent être :

- soit définies sur un fichier externe lu par la commande LIRE_FONCTION.
- soit définies dans le fichier de commandes par :
  - DEFI_CONSTANTE qui produit un concept fonction avec une seule valeur constante,
  - DEFI_FONCTION qui produit un concept fonction pour une grandeur fonction d'un paramètre réel,
  - DEFI_NAPPE qui produit un concept fonction pour une liste de fonctions d'une même grandeur, chaque élément de la liste correspondant à une valeur d'un autre paramètre réel.
    Le concept produit par ces opérateurs est de type fonction et ne peut être utilisé que comme argument d'opérandes qui acceptent ce type. Les opérateurs qui acceptent un argument de type fonction ont pour suffixe F (ex : AFFE_CHAR_MECA_F). Les fonctions sont dans ce cas définies point par point, avec un interpolation linéaire par défaut, donc affines par morceaux.

    Les fonctions créées sont des tables discrètes des grandeurs spécifiées à la création. Lors d'une recherche de valeur, on procède suivant les caractéristiques spécifiées, par recherche directe ou par interpolation dans la table (linéaire ou logarithme). On peut spécifier, lors de la création de la fonction, le prolongement hors du domaine de définition de la table, avec différentes règles, ou l'interdire.
- soit définies à l'aide de leur expression analytique par l'opérateur FORMULE. Par exemple :

```
omega   =  3.566  ;

linst = ( 0., 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10,
0.20, 0.40 )

F = FORMULE(VALE = '''COS(OMEGA*INST)''')
F1=CALC_FONC_INTERP( FONCTION=F, VALE_PARA= linst,
                     NOM_RESU='ACCE',)
```

La fonction analytique $F(t)=\cos(\Omega t)$ est ensuite calculée par CALC_FONC_INTERP pour les instants de la liste linst liste d'instants t.

3.8 Comment rédiger son fichier de commandes avec EFICAS ?

Pour rédiger un fichier de commandes de *Code_Aster*, le plus immédiat consiste à partir d'un exemple déjà rédigé par d'autres. En particulier, l'ensemble des tests de *Code_Aster* constitue souvent une bonne base de départ pour une nouvelle modélisation. Ils sont documentés en tant que documentation de validation.

Mais il y a mieux : l'outil **EFICAS** permet de rédiger de façon interactive et conviviale son fichier de commandes, en proposant pour chaque commande la liste des mots clés possibles en vérifiant automatiquement la syntaxe, et en donnant accès à la documentation du Manuel d'utilisation (fascicules [U4] et [U7]).

4 Les grandes étapes d'une étude

Les grandes étapes d'une étude sont dans le cas général :

- la préparation du travail, qui se termine après la lecture du maillage,
- la modélisation au cours de laquelle sont définies et affectées toutes les propriétés des éléments finis et des matériaux, les conditions aux limites et les chargements,
- le calcul peut alors être réalisé par l'exécution de méthodes de résolution globales [U4.5-], qui s'appuient éventuellement sur des commandes de calcul et d'assemblage de matrice et vecteurs [U4.6-]
- les opérations de post-traitements complémentaires au calcul [U4.8-],
- les opérations d'impression des résultats [U4.9-]
- les opérations d'échange de résultats avec d'autres logiciels (visualisation graphique par exemple) [U7.05-]

4.1 Démarrer l'étude et acquérir le maillage

On ne reviendra pas ici sur la fragmentation possible du fichier de commandes, qui a été présentée dans un paragraphe précédent.

La première commande exécutable est :

```
DEBUT ( )
```

Les argument de cette commande ne sont utiles que pour les opérations de maintenance ou dans le cas de très grosses études.

Pour la lecture du maillage, provenant d'un logiciel de maillage extérieur, on peut opérer de deux façons :

- convertir le fichier d'un progiciel en un fichier au format *Code_Aster* par une exécution séparée, ce qui permet, éventuellement, de le modifier par traitement de texte et de le conserver :

  ```
  DEBUT ( )
  PRE_IDEAS ( )
  FIN ( )
  ```

  l'étude normale pourra alors débuter par exemple par :

  ```
  DEBUT  ( )
  ma =   LIRE_MAILLAGE    ( )
  ```

- convertir le fichier juste avant de le lire :

  ```
  DEBUT   ( )
  PRE_IDEAS      ( )
  ma =   LIRE_MAILLAGE    ( )
  ```

4.2 Affecter des données de modélisation au maillage

Pour construire la modélisation d'un problème mécanique, thermique ou acoustique, il est indispensable d'affecter aux entités topologiques du maillage :

- un modèle d'élément fini,
- les propriétés des matériaux (loi de comportement et paramètres de la loi),
- des caractéristiques géométriques ou mécaniques complémentaires,
- des conditions aux limites ou des chargements.

Ces affectations sont obtenues par différents opérateurs dont le nom est préfixé par AFFE_. La syntaxe et le fonctionnement de ces opérateurs utilisent les facilités apportées par les règles déjà mentionnées précédemment sur l'utilisation des mots clés facteur.

4.2.1 Définition d'un domaine d'affectation

Pour réaliser une affectation, il est indispensable de définir un domaine d'affectation par référence aux noms des entités topologiques définies dans le fichier maillage. Cinq mots-clés sont utilisables pour cela, suivant la spécification de l'opérateur :

- faire référence à tout le maillage par TOUT= 'OUI'
- affecter à des mailles par MAILLE= (liste de noms de mailles)
- affecter à des groupes de mailles par GROUP_MA= (liste de noms de groupes de mailles)
- affecter à des nœuds par NOEUD= (liste de noms de nœuds)
- affecter à des groupes de nœuds par GROUP_NO= (liste de noms de groupes de nœuds)

4.2.2 Affecter le type d'élément fini

Sur les mailles de la structure étudiée, qui ne sont à ce stade que des entités topologiques, il est indispensable d'affecter :

- un ou plusieurs phénomènes à étudier : 'MECANIQUE', 'THERMIQUE', 'ACOUSTIQUE' ;
- un modèle d'élément fini compatible avec la description topologique de la maille. Cette affectation induit une liste explicite de degrés de liberté en chaque nœud et une loi d'interpolation dans l'élément.

On utilise pour cela l'opérateur AFFE_MODELE [U4.41.01], qui peut être appelé plusieurs fois sur le même maillage. Il utilise la règle de surcharge.

Nota :

Pour une étude avec plusieurs phénomènes traités ('MECANIQUE' , 'THERMIQUE'), il est indispensable de construire un modèle pour chaque phénomène, par autant d'appels à AFFE_MODELE . Par contre, pour un calcul donné (mécanique, thermique, …) il faut un et un seul modèle.

Pour connaître les caractéristiques des différents éléments finis disponibles, on se reportera aux fascicules [U2-], et [U3-].

4.2.3 Affecter des caractéristiques de matériaux

Il est nécessaire d'affecter à ce stade des caractéristiques de matériau, et les paramètres associés, à chaque élément fini du modèle (sauf pour les éléments discrets définis directement par une matrice de rigidité, de masse et/ou d'amortissement). En d'autres termes, DEFI_MATERIAU sert à définir un matériau et AFFE_MATERIAU sert à définir un champ de matériaux par association du maillage. Pour un calcul donné, il faut un et un seul champ de matériaux.

On peut également utiliser les caractéristiques validées du catalogue matériau à l'aide de la procédure INCLUDE_MATERIAU [U4.43.02].

Un certain nombre de modèles de comportement sont utilisables : élastique, élastique orthotrope, thermique, acoustique, élastoplastique, élastoviscoplastique, endommagment. Notons qu'il est possible de définir plusieurs caractéristiques de matériaux pour un même matériau : élastique et thermique, élasto-plastique, thermo-plastique, …

4.2.4 Affecter des caractéristiques aux éléments

Lors de l'utilisation de certains types d'éléments, pour le phénomène 'MECANIQUE', la définition géométrique déduite du maillage ne permet pas de les décrire complètement.

On doit affecter aux mailles les caractéristiques manquantes :

- pour les **coques** : l'épaisseur constante sur chaque maille et un repère de référence pour la représentation de l'état de contrainte,
- pour les **poutres, barres et tuyaux** : les caractéristiques de la section transversale, et éventuellement l'orientation de cette section autour de la fibre neutre.

Ces opérations sont accessibles par l'opérateur AFFE_CARA_ELEM [U4.42.01]), qui utilise, pour simplifier la rédaction de la commande, la règle de surcharge.

Une autre possibilité est offerte par cet opérateur : celle d'introduire, directement dans le modèle, des **matrices** de rigidité, de masse ou d'amortissement sur des mailles POI1 (ou des nœuds) ou des mailles SEG2. Ces matrices correspondent aux types d'éléments finis discrets à 3 ou 6 degrés de liberté par nœud DIS_T ou DIS_TR qui doivent être affectés lors de l'appel à l'opérateur AFFE_MODELE.

4.2.5 Affecter les conditions aux limites et les chargements

Ces opérations sont, en général, indispensables. Elles sont réalisées par plusieurs opérateurs dont le nom est préfixé par AFFE_CHAR ou CALC_CHAR. Sur un même modèle, on pourra réaliser plusieurs appels à ces opérateurs pour définir, au fur et à mesure de l'étude, des conditions aux limites et/ou des chargements.

Les opérateurs utilisés diffèrent avec le phénomène :

'MECANIQUE'	AFFE_CHAR_CINE	
	AFFE_CHAR_MECA	données de type réel uniquement
	AFFE_CHAR_MECA_F	données de type fonction
'THERMIQUE'	AFFE_CHAR_THER	données de type réel uniquement
	AFFE_CHAR_THER_F	données de type fonction
'ACOUSTIQUE'	AFFE_CHAR_ACOU	données de type réel uniquement

De plus, on peut établir le chargement sismique pour effectuer un calcul de réponse en mouvement relatif par rapport aux appuis, à l'aide de la commande CALC_CHAR_SEISME.

Les conditions aux limites et chargements peuvent être définis suivant leur nature :

- aux nœuds,
- sur des mailles de bord (arête ou face) ou des mailles support d'éléments finis, créées dans le fichier maillage. Sur ces mailles l'opérateur AFFE_MODELE a affecté les types d'éléments finis nécessaires.

Pour la description détaillée des opérandes de ces opérateurs et les règles d'orientation des mailles support (repère global, repère local ou repère quelconque) on se reportera aux documents [U4.44.01], [U4.44.02], et [U4.44.04].

Les conditions aux limites peuvent être traitées de deux façons :

- par « élimination » des degrés de liberté imposés (pour des modèles mécaniques linéaires ne mettant en œuvre que des conditions aux limites cinématiques (degrés de libertés bloqués) **sans relation linéaire.** On définira dans ce cas les conditions aux limites par la commande AFFE_CHAR_CINE.
- par dualisation [R3.03.01]. Cette méthode, grâce à sa plus grande généralité, permet de traiter tous les types de conditions aux limites (degré de liberté imposé, relations linéaires entre degrés de liberté, …) ; la méthode utilisée conduit à ajouter 2 multiplicateurs de LAGRANGE pour chaque ddl imposé ou chaque relation linéaire.

Chaque concept produit par l'appel à ces opérateurs, de type AFFE_CHAR, correspond à un système de conditions aux limites et de chargements indissociable. Dans les commandes de calcul, on peut agréger ces concepts en fournissant pour les opérandes CHARGE une liste de concepts de ce type.

4.3 Réaliser les calculs par des commandes globales

4.3.1 Analyse THERMIQUE

Pour calculer le(s) champ(s) de température correspondant à une analyse thermique linéaire ou non linéaire :

- **stationnaire** (instant 0),
- **évolutive** dont les instants de calcul sont spécifiés par une liste de réels définie au préalable

Les commandes à utiliser sont :

- THER_LINEAIRE pour une analyse linéaire [U4.54.01],
- THER_NON_LINE pour une analyse non linéaire [U4.54.02],
- THER_NON_LINE_MO pour un problème de charges mobiles en régime permanent [U4.54.03].

Les calculs des matrices et vecteurs élémentaires et assemblés nécessaires à la mise en œuvre des méthodes de résolution sont pris en charge par ces opérateurs.

4.3.2 Analyse STATIQUE

Pour calculer l'évolution mécanique d'une structure soumise à une liste de chargements :

- MECA_STATIQUE [U4.51.01] : comportement linéaire, avec superposition des effets de chaque chargement,
- MACRO_ELAS_MULT [U4.51.02] : comportement linéaire, en distinguant les effets de chaque chargement,
- STAT_NON_LINE [U4.51.03] : évolution quasi-statique d'une structure soumise à une histoire de chargement en petites ou grandes transformations, faite d'un matériau dont le comportement est linéaire ou non linéaire, avec prise en compte possible du contact et frottement.

Si ce calcul mécanique correspond à une étude de **thermo-élasticité**, on fera référence à un **instant** du calcul thermique déjà réalisé. Si le matériau a été défini avec des **caractéristiques dépendant de la température**, celles-ci sont interpolées pour la température correspondant à l'instant de calcul demandé.
Pour les problèmes de thermohydromécanique couplé, c'est l'opérateur STAT_NON_LINE qui est utilisé pour résoudre simultanément les 3 problèmes thermique, hydraulique et mécanique.
Les calculs des matrices et vecteurs élémentaires et assemblés nécessaires à la mise en œuvre des méthodes de résolution sont pris en charge par ces opérateurs.

4.3.3 Analyse MODALE

Pour calculer les modes propres et valeurs propres de la structure (correspondant à un problème vibratoire ou à un problème de flambement).

- CALC_MODES avec OPTION parmi ['BANDE','CENTRE','PLUS_*','TOUT'] [U4.52.02] : calcul des modes propres par itérations simultanées ; les valeurs propres et vecteur propres sont réels ou complexes ;
- CALC_MODES avec OPTION parmi ['PROCHE','AJUSTE','SEPARE'] [U4.52.02] : calcul des modes propres par itérations inverses ; les valeurs propres et vecteur propres sont réels ou complexes ;
- CALC_MODES avec OPTION='BANDE' et découpage de la bande en plusieurs sous-bandes [U4.52.02] : allège l'analyse modale en découpant l'intervalle de fréquence en sous intervalles ;
- MODE_ITER_CYCL [U4.52.05] : calcul des modes propres d'une structure à répétitivité cyclique à partir d'une base de modes propres réels.

Ces opérateurs nécessitent au préalable le calcul des matrices assemblées avec la commande ASSEMBLAGE [U4.61.21] ou ASSE_MATRICE [U4.61.22].

4.3.4 Analyse DYNAMIQUE

Pour calculer la réponse dynamique, linéaire ou non linéaire, de la structure. Plusieurs opérateurs sont disponibles. On peut citer par exemple :

DYNA_LINE_TRAN [U4.53.02] : réponse dynamique temporelle d'une structure linéaire soumise à une excitation transitoire,
DYNA_LINE_HARM [U4.53.02] : réponse dynamique complexe d'une structure linéaire soumise à une excitation harmonique,
DYNA_TRAN_MODAL [U4.53.21] : réponse dynamique transitoire en coordonnés généralisées par recombinaison modale.

Ces trois opérateurs nécessitent au préalable le calcul des matrices assemblées [U4.61-].

DYNA_NON_LINE [U4.53.01] : réponse dynamique temporelle d'une structure non linéaire soumise à une excitation transitoire, qui calcule également les matrices assemblées.

4.4 Les résultats

Les résultats produits par les opérateurs réalisant des calculs par éléments finis [U4.3-], [U4.4-] et [U4.5-] sont de deux types principaux :

- soit du type cham_no ou cham_elem (par noeud ou par élément) lorsqu'il s'agit d'opérateurs ne produisant qu'un seul champ (par exemple RESOUDRE),
- soit du type RESULTAT à proprement parler qui regroupe des ensembles de champs.

Un champ dans un concept de type RESULTAT est repéré :

- par une variable d'accès qui peut être :
  - un simple numéro d'ordre se référant à l'ordre dans lequel les champs ont été rangés,
  - un paramètre défini selon le type du concept RESULTAT :
    - fréquence ou numéro de mode pour un RESULTAT du type mode_meca,
    - instant pour un RESULTAT du type evol_elas, temper, dyna_trans ou evol_noli.
- par un nom symbolique de champ faisant référence au type du champ : déplacement, vitesse, état de contrainte, efforts généralisés, …

En plus des variables d'accès, d'autres paramètres peuvent être attachés à un type de concept RESULTAT.

Les différents champs sont incorporés dans un concept résultat :

- soit par l'opérateur qui créé le concept, une commande globale (MECA_STATIQUE, STAT_NON_LINE, …) ou une commande simple (CALC_MODES, DYNA_LINE_TRAN, …),
- soit lors de l'exécution d'une commande qui permet d'ajouter une option de calcul sous forme d'un champ par élément ou d'un champ aux nœuds (CALC_CHAMP) ; on dit alors explicitement que l'on enrichit le concept :

```
resul = opérateur   (reuse=resu1, RESULTAT =   resul …)  ;
```

4.5 Exploiter les résultats

L'ensemble des commandes précédentes a permis de construire différents concepts qui sont exploitables par des opérateurs de post-traitement des calculs :

- opérateurs généraux de post-traitement (voir fascicule [U4.81]), par exemple CALC_CHAMP, POST_ELEM, POST_RELEVE_T,
- opérateurs de mécanique de la rupture (voir fascicule [U4.82]), par exemple CALC_G,
- opérateur de métallurgie : CALC_META,
- post-traitement mécanique statique (voir fascicule [U4.83]), par exemple POST_FATIGUE, POST_RCCM,

- post-traitement mécanique dynamique (voir fascicule [U4.84]), par exemple POST_DYNA_ALEA, POST_DYNA_MODA_T.

- opérateurs d'extraction :
  - d'un champ dans un concept résultat CREA_CHAMP [U4.72.04],
  - d'un champ en coordonnées généralisées pour un calcul dynamique avec base modale RECU_GENE [U4.71.03],
  - d'une fonction d'évolution d'une composante à partir d'un concept résultat RECU_FONCTION [U4.32.03],
  - et de restitution d'une réponse dynamique dans la base physique REST_GENE_PHYS [U4.63.31],
  - un opérateur de post-traitement de fonctions ou de nappes CALC_FONCTION qui permet des recherches de pics, d'extremums, des combinaisons linéaires, … [U4.32.04].

Enfin, deux procédures IMPR_RESU [U4.91.01] et IMPR_FONCTION [U4.33.01] permettent l'impression et éventuellement la création de fichiers exploitables par d'autres progiciels, notamment de visualisation graphique. On retiendra notamment la visualisation graphique par IDEAS, GMSH, ou GIBI quel que soit l'outil de maillage utilisé au départ.

5 Fichier d'impression et messages d'erreur

code_aster écrit les informations relatives au calcul dans un fichier dont la signification est la suivante :

Fichier	Contenu
MESSAGE	Informations sur le déroulement du calcul. Répétition du fichier de commandes, fourni et son interprétation par **code_aster**. Temps d'exécution de chaque commande. Messages émis lors de l'exécution, *cf.* ci-après.

D'autres fichiers sont utilisés pour les interfaces avec les programmes de dépouillement graphique.

On distingue différents types de messages qui sont décrits ci-dessous.

Code	Type de message
F	message d'erreur fatale, l'exécution s'arrête après diverses impressions. Le concept créé par la commande courante est perdu. Néanmoins, les concepts produits précédemment sont validés et la base GLOBALE est sauvegardée. Il est utilisé dans le cadre de la détection d'erreur grave ne pouvant permettre la poursuite normale d'une commande de *Code_Aster.*
E	message d'erreur, l'exécution continue un petit peu : ce type de message permet d'analyser une série d'erreurs avant l'arrêt du programme. *L'émission d'un message de type* <E> *est toujours suivi par l'émission d'un message de type* <F>. Les concepts produits sont validés et la base GLOBALE est disponible pour une POURSUITE.
S	message d'erreur, les concepts créés au cours de l'exécution, y compris de la commande courante, sont validés par le superviseur, l'exécution s'arrête avec fermeture "propre" de la base GLOBALE. Elle est donc réutilisable en POURSUITE. Ce message permet en particulier de se prémunir d'un problème de convergence ou de temps au cours d'un processus itératif.
A	message d'alarme. Le nombre de messages d'alarme est limité automatiquement à 5 messages **successifs** identiques. **Il est recommandé aux utilisateurs qui ont des messages de type A de "réparer" leur fichier de commandes pour les faire disparaître.**

I	message d'information à destination des utilisateurs. Il est recommandé de prendre connaissance du contenu de ces messages, sans que cela nécessite toutefois une modification du fichier de commandes ou une vigilance renforcée.

NB : les exceptions se comportent exactement comme des erreurs <S>. Ce sont en fait des erreurs <S> adaptées à un cas particulier.